

第44回メソ気象研究会の報告

—最強の熱帯低気圧 Haiyan と Pam—

コンビーナー：坪木和久*

1. はじめに

近年、災害史に残るような強い熱帯低気圧の発生が続いている。2013年にフィリピンに上陸し大災害をもたらした台風 Haiyan と2015年に南太平洋のパヌアツに甚大な被害をもたらしたサイクロン Pam, さらにこの研究会の直前に発生し、ハリケーンの最低中心気圧を更新した Patricia (2015年) などはその代表的なものといえる。今回のメソ気象研究会はこれらのうち、Haiyan と Pam に焦点をあてた。これらの熱帯低気圧は日本に直接災害をもたらしたわけではないが、最強クラスの熱帯低気圧としてその実態を知ることが重要である。特にこれらの熱帯低気圧がどのような災害をもたらしたのかは、将来の温暖化気候における台風が日本にもたらす災害を考える上で大いに参考になるものである。

自然災害だけでなく地球科学一般に、実態を知る上で現地をみるということは最も重要である。そこでフィリピンやパヌアツに現地調査に行かれた森氏(京大防災研)と島川氏(NHK)からは、防災の観点と災害の実態を伝えるという視点から話題をいただいた。「デジタル台風」の開発・運営をされている北本氏(情報研)からは、その基本方針である「データの文脈化」について説明いただき、デジタル台風を軸とした様々なデータベースの意義やそれを見る視点をお話いただいた。実態を知る上で観測だけでは得られない情報をシミュレーションから得ることができる場合がある。全球あるいは領域の数値モデルを用いて、観測やデータ解析だけでは得られない情報を取り出すという視点で中野氏(JAMSTEC)と吉岡氏

(名大)に、それぞれのモデルから分かる“実態”についてお話しいただいた。さらに小山氏(気象庁)には本研究会のテーマとなっている強い熱帯低気圧について、その強度を推定する最近の取り組みを紹介いただいた。

今回のメソ気象研究会では、2つの熱帯低気圧を取り上げたが、現地調査、報道、データベース、シミュレーション、さらに強度推定法など多様な視点から最強の熱帯低気圧を考える機会として意義あるものであった。

今回の研究会は2015年10月27日に、京都駅のそばのキャンパスプラザ京都第3講義室で行われた。名簿記載で109名の参加があり、ほぼ会場がいっぱいになるほどの盛況な研究会となった。今回、メソ気象研究会としては、はじめて報道の方からお話をいただいた。さまざまな点でメソ気象は災害をはじめとする社会問題と関係しており、もっと報道などの社会との接点をこの研究会に取り入れることが重要であると感じた。

2. 台風 Haiyan とサイクロン Pam による沿岸災害の調査と解析

森 信人(京都大学)

近年、強い台風の出現による沿岸災害への影響が懸念されている(例えば Woodruff *et al.* 2013)。しかしながら、台風の上陸数に比べて、台風による高潮は頻度が少ないために数値モデルの検証やその影響評価は難しく、このため実際に発生した台風・高潮災害の詳細な解析は重要である。2013年11月に発生した台風30号(以下、Haiyan)は、フィリピン、ベトナム、および周辺地域を襲った非常に強い熱帯低気圧であった。さらに2015年3月8日に南太平洋で発生したサイクロン Pam は、パヌアツ共和国に甚大な被害をもたらした。Haiyan や Pam のような極端な災害事例を

* (連絡責任著者) Kazuhisa TSUBOKI, 名古屋大学, tsuboki@nagoya-u.jp

© 2017 日本気象学会

詳細に調査解析することは、災害素因の評価に加えて、台風や高潮予測・再解析モデルのパフォーマンスを定量的に評価するために必要である。

今回のメソ気象研究会では、Haiyan および Pam の高潮・高波災害についての現地調査結果とその数値モデルによる評価結果を紹介した。台風の強度、移動速度や経路の特性とローカルな地域特性に応じて、内湾の高潮 (Mori *et al.* 2014) や外洋の長周期波 (Infragravity wave) と風波の遡上との共鳴による大規模な浸水被害が生じることを紹介した。避難や復興に関する対象国の取り組みや文化的特徴について紹介するとともに、これらの沿岸災害に対する温暖化影響についても紹介した (Takayabu *et al.* 2015)。

謝辞：台風 Haiyan およびサイクロン Pam の調査および研究に関わった数多くの共同研究者の皆様へ感謝いたします。

3. 現地取材から見えてきた Haiyan と Pam の実像

島川英介 (日本放送協会)

猛烈な勢力の台風がもたらす被害の実像と社会の対応を取材することは、現地社会への影響を知ることに加え、日本の防災への示唆もあると考えられる。メソ気象研究会では、台風30号 (以下、Haiyan) の被害を受けたフィリピン、およびサイクロン Pam (以下、Pam) が直撃したバヌアツで行った取材の内容を紹介した。

Haiyan では、死者・行方不明者が7300人を超える大災害となったが、政府は事前に担当大臣を現地入りさせるなど、体制は比較的構築され、予測に基づく報道もされていた。しかし、住民に聞き取りを行うと、「高潮がどのようなものか知らなかった」などと事態認定ができていなかった住民が大半であった (Esteban ほか 2014)。

一方、Pam でも暴風や高波による被害が確認されたが、多くの集落では事前の避難がされていた。要因として挙げられるのが、適切な情報伝達と住民の対応である。サイクロンの位置を示すためにアルファベットと数字をXY軸に配した「サイクロンマップ」を従来から各集落に配布していた事に加え、Pamからは新たに、気象当局がサイクロンマップに基づくサイクロンの位置と警戒区域を知らせるSMS配信を実施した。過去の被害を伝承していた住民は、伝統建築に基づくサイクロンシェルター等に避難していた Nishi-

jima *et al.* 2015)。

日本では災害の頻発に伴って情報が増え続けているが、その内容や受け止められ方について検討が必要だと改めて認識させられた。

謝辞：Haiyan と Pam の同行取材に協力して下さった皆様、また、関連する取材にご協力くださった皆様へ感謝申し上げます。

4. デジタル台風：熱帯低気圧の実感に向けたデータの文脈化

北本朝展 (国立情報学研究所)

「デジタル台風」は、台風に関連するあらゆる情報を整理し、世界中の人がアクセスできて使えるようにすることを目的とする。社会へのインパクトが大きい台風という現象の全貌を把握するには、気象衛星画像や数値予報データ等の観測・予測データのみならず、各種メディア情報や防災に関連する情報など、過去から現在にわたる多面的なデータを統合して分析するビッグデータのアプローチ (北本 2012) が不可欠である。こうしたビッグデータ分析のための研究基盤を構築し、統一的な世界観の下でアクセス可能とすることがデジタル台風の役割である。

デジタル台風の基本方針の一つに「データの文脈化」がある。これは、データは単なる数値だけでは意味を持たず、それを解釈する文脈と一体化することで有用な意味を帯びた情報に変換できるという考え方である。例えば24時間100 mmの雨という数値は、雨が少ない道北では大雨という意味を帯びるが、多雨で有名な尾鷲ではよくある雨という意味を帯びる。また、類似検索やランキング、可視化といった様々な文脈化技術は、過去の経験を現在の対策に活用する目的にも有用である。「伊勢湾台風メモリーズ2009」(北本 2009) では、伊勢湾台風による観測史上最大級の高潮を実寸大で投影し、自分の身長という「自分軸」を基準として高潮を体感できるシステムを構築した。

最後にデジタル台風の日々の活動の一端として「台風ニュース・ウェブログ」が果たす3つの役割を紹介したい。第一の役割は自分が興味を持った出来事を文章化することで理解を深めること、第二の役割は台風の特徴を後から検索するためのメタデータを付与することにある。しかしそれに劣らず重要な第三の役割に「キュレーション駆動開発」(北本 2015) がある。これは、ブログの執筆という手段を活用して自分をデータベース利用者の立場に置き、使い手の視点からユー

ザビリティを評価する機会を創出する方法論である。もしデジタル台風が使いやすいデータベースと評価されるなら、それは作り手と使い手の視点を常に往復しているためであると言える。

5. サイクロン Pam の強度に対する海洋の影響

吉岡真由美 (名古屋大学)

サイクロン Pam は台風1503 (Bavi) との twin cyclone として発生した。サイクロン Pam は南半球の夏季の SST の高い ($>30^{\circ}\text{C}$) 海域 (10S-15S) を、3月10日から13日にかけて発達しながらゆっくり南下し、以降加速しながら15日には30S 付近に達した。NESDIS Tropical Cyclone Products (<http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/DATA/2015/tdata/spac/17P.html> 2015.11.30閲覧) によると、Pam の中心気圧は発生の日頃の980 hPa から急速に低下し3月13日には17S, 169E 付近で880 hPa の最低気圧を示した。

サイクロン Pam の強度に、SST を通じて影響を及ぼす海洋の効果を調べるため、領域大気海洋結合モデルを用いて海洋結合・非結合の数値実験を行った。初期時刻の SST を用いた海洋非結合実験 (fix SST 実験) および、海洋上層の水温のみを予報する一次元海洋モデル (鉛直熱拡散方程式を解くスラブモデル) を用いた海洋結合実験 (1D 実験), および三次元海洋モデルを用いた海洋結合実験 (3D 実験) を実施した。大気モデルには非静力雲解像大気モデル CReSS (Tsuboki and Sakakibara 2007), 海洋結合実験には CReSS-NHOES (相木ほか 2015) を用いた。

赤道を挟んだ twin cyclone を包括する37.89S-13.29N, 142.11E-74.57W を計算領域にとり、空間解像度は水平0.02度でサイクロン Pam の構造を再現するとともに、大気および海洋の環境場を表現した (格子数3587 \times 2563, 大気鉛直67層)。大気の初期値・境界値として JMA/GSM-GPV を、海洋の初期値・境界値には、JCOPE2再解析値を利用した。計算は3月10日 06UTC を初期時刻とし、バヌアツ (17S 付近) を通過した期間を含む7日積分を行った。

すべての実験において、10S-12S 域でのサイクロン Pam のゆっくりした南下と、その後速度を上げた移動、および経路をほぼ再現した (東に約200 km のずれ)。計算初期 (3/10~3/11) において、サイクロン Pam は低緯度10S 付近に位置し中心気圧980 hPa からゆっくり低下しながら SST の高い ($>30^{\circ}\text{C}$) 海

域 (10S-15S) を移動し、その後 (3/12~3/14 12 UTC), 22S-23S で中心気圧は急低下し、最低気圧は観測 (3月13日に880 hPa) に対し約1日遅れて14日 06UTC 頃に現れた。非結合 (fix SST) 実験で850 hPa と観測より強くなるのに対し、海洋結合実験 (1D, 3D) では移動速度の遅いサイクロンと海洋上層の相互作用による SST の低下で中心気圧が抑制された。3D 実験で観測に近い最低中心気圧885 hPa を示した。1D 実験 (900 hPa) に対し3D 実験の強度が強いのは、サイクロン Pam は強く大きなサイクロンであったため、通過域に SST 低温部は見られるが、サイクロン Pam を中心とした環境場からの熱供給 (潜熱フラックス) が、3D 実験では1D より大きいことによると考えられる。

移動速度が遅いサイクロン Pam の通過に伴い、海洋下層からの湧昇および混合によって経路上の SST が低下し、強度の抑制をもたらすことが考えられる。しかし、3D 実験の海洋内部の水温分布をみると、サイクロンの強度に影響する海洋貯熱量を決める水温 26°C 深さは経路上熱帯から25S 付近まで30 m 以上と十分深く、これがバヌアツ通過付近でもカテゴリ5 とサイクロン Pam が十分強い強度を保てた理由として考えられる。

また、計算開始時刻を前後 \pm 6時間ずらした1D 実験との比較から、再現に用いた初期時刻の環境場のわずかな違いがその後の経路と強度に影響したことが示唆された。

謝辞: 本研究は国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施する「地球シミュレータ特別推進課題」を利用して行われました。

6. 全球非静力学モデルで迫る Pam の“実態”

中野満寿男 (海洋研究開発機構)

Pam が発生した背景として中部太平洋の SST が高かったことと、MJO が海洋大陸上で発生し、東進してきたことが指摘されている (たとえば米山・久保田 2015)。

2012年に稼働開始した「京」コンピュータをフルに活用する HPCI 戦略プログラムにより、全球非静力学モデルを用いた熱帯気象の予測可能性研究が飛躍的に進んだ。たとえば Miyakawa *et al.* (2014) では MJO の予測可能性が1ヶ月先までであることを、また Nakano *et al.* (2015) は台風の発生予測が約2週間前から可能であることを、それぞれ多数の初期値アン

サンプル実験によって明らかにした。

上記の成果を応用し、本研究では水平格子間隔14 kmの全球非静力学モデルNICAMを用いて、2015年3月の中部太平洋の高SSTがMJOとPam発生にどのような影響を与えていたのかを調べた。積分は2月21日から3月8日の毎日00UTCから30日間行った。NICAMではSSTをスラブ海洋モデルで予報するが、この際、初期時刻において解析されたSSTアンマリが将来も一定と仮定してナッジングを行った実験(OBSST)と、気候値にナッジングした実験(CLM-SST)とを行い比較した。その結果、OBSST、CLM-SSTともに2月26日(発生の11日前)前後からPamに対応する台風発生を予測した。3月3日より前の初期時刻の実験において、OBSSTでは発生位置とほぼ同じ経度で発生が予測された一方で、CLM-SSTでは10度ほど西で発生が予測された。OBSSTはCLM-SSTに比べて、熱帯中部太平洋で定常的に西風が強かった上に、MJOに伴う強い西風領域の東進も見られた。これらの西風の足しあわせで、Pam発生海域である中部太平洋で西風が強化されたことが、Pamの発生に関与していたと考えられる。

謝辞：計算は地球シミュレータで行った。本研究は文部科学省のFLAGSHIP2020プロジェクト、気候変動リスク情報創生プログラム、およびJSPS科研費26400475の一環として行われた。また文部科学省のHPCI戦略プログラムの支援を受けた。

7. 台風HaiyanとサイクロンPamの強度推定について

小山 亮 (気象庁)

はじめに、気象庁による台風Haiyanのベストトラック解析(中心気圧、最大風速)は、主に静止気象衛星で観測される雲パターンを用いたドボラック法による推定強度(Dvorak 1975, 1984; 木場ほか 1990)と現場観測に基づき解析されていたことを説明した。次に、極軌道衛星NOAA及びMetOpのマイクロ波探査計AMSU-Aによる暖気核観測に基づく中心気圧推定(Oyama 2014)とドボラック中心気圧推定から導出したコンセンサス推定(小山ほか 2015)を用いた強度比較では、最盛期における中心気圧はHaiyanの方がPamより僅かに低かった可能性を指摘した。また、AMSU-A観測によるHaiyanとPamの中心付近の気温分布の比較によって、Haiyanの方がより小さな暖気核構造をもっていたことも分

かった。おわりに、今後の台風強度推定の課題として、衛星から捉えることが難しい台風内部の詳細構造を考慮するためには、地上ドップラーレーダー観測を用いた解析も重要であることを指摘した。

謝 辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、会場の準備、運営をしていただいた気象学会員の有志の方々ならびに筑波大学連携大学院(気象研究所)の学生のみなさまに感謝します。また、総合討論でご意見をいただいた多くの方々にもお礼申し上げます。

略語一覧

AMSU-A : Advanced Microwave Sounding Unit-A
 CReSS : Cloud Resolving Storm Simulator
 CReSS-NHOES : Cloud Resolving Storm Simulator-NonHydrostatic Ocean Model for the Earth Simulator
 JCOPE2 : Japan Coastal Ocean Predictability Experiment 2
 MetOp : Meteorological Operation
 MJO : Madden-Julian Oscillation
 NESDIS : NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service
 SMS : Short Message Service
 SST : Sea Surface Temperature

参 考 文 献

- 相木秀則, 吉岡真由美, 加藤雅也, 森本昭彦, 篠田太郎, 坪木和久, 2015: 大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用. 沿岸海洋研究, 52, 139-148.
- Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. Mon. Wea. Rev., 103, 420-430.
- Dvorak, V. F., 1984: Tropical Cyclone Intensity Analysis Using Satellite Data. NOAA Technical Report NESDIS 11, 47pp.
- Esteban, M., 松丸 亮, 高木泰士, 三上貴仁, 柴山知也, M. P. de Leon, V. P. Valenzuela, Nguyen D. T., 2014: 2013年台風Yolanda (Haiyan) 時の災害情報の伝達と住民の避難行動に関する分析. 土木学会論文集 B3, 70, 1218-1223.
- 北本朝展, 2009: デジタル台風: リアル空間での体験を共有する参加型情報基盤. 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, 109, 63-68.
- 北本朝展, 2012: 大規模マルチメディアデータの統合と検索による気象イベントのモニタリング. 映像情報メ

- ア学会誌, 66, 907-912.
- 北本朝展, 2015: デジタル・アーカイブの鍛え方～公開から始まる継続的な改善を駆動する方法論. デジタル・アーカイブとは何か—理論と実践, 岡本 真, 柳 与志夫 (編), 勉誠出版, 157-180.
- 木場博之, 萩原武士, 小佐野慎悟, 明石秀平, 1990: 台風のCI数と中心気圧及び最大風速の関係. 気象庁研究時報, 42, 59-67.
- Miyakawa, T. *et al.*, 2014: Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer. *Nature Comm.*, 5, 3769, doi:10.1038/ncomms4769.
- Mori, N., M. Kato, S. Kim, H. Mase, Y. Shibutani, T. Takemi, K. Tsuboki and T. Yasuda, 2014: Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gul., *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5106-5113.
- Nakano, M., M. Sawada, T. Nasuno and M. Satoh, 2015: Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 565-571.
- Nishijima, K., N. Mori, T. Yasuda, T. Shimura, J. T. Gogon, D. Gibson and F. Jockley, 2015: DPRI-VMGD joint survey for Cyclone Pam damages. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 18 pp.
- Oyama, R., 2014: Estimation of tropical cyclone central pressure from warm core intensity observed by the Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A). *Pap. Meteor. Geophys.*, 65, 35-56.
- 小山 亮, 永田和彦, 川田英幸, 小出直久, 2015: ドボラック法及び AMSU による台風強度推定のコンセンサスの開発. 日本気象学会2015年度秋季大会講演予稿集, A356.
- Takayabu, I., K. Hibino, H. Sasaki, H. Shiogama, N. Mori, Y. Shibutani and T. Takemi, 2015: Climate change effects on the worst-case storm surge: a case study of Typhoon Haiyan. *Environ. Res. Lett.*, 10, 064011, doi:10.1088/1748-9326/10/6/064011.
- Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2007: Numerical Prediction of High-Impact Weather Systems. The Textbook for Seventeenth IHP Training Course in 2007, 281pp.
- Woodruff, J.D., J.L. Irish and S.J. Camargo, 2013: Coastal flooding by tropical cyclones and sea-level rise. *Nature*, 504, 44-52.
- 米山邦夫, 久保田尚之, 2015: ヌアツを襲ったサイクロン・パムについて—巨大な雲群 MJO との関係—. JAMSTEC ニュース, http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20150325/ (2015.11.30閲覧).